

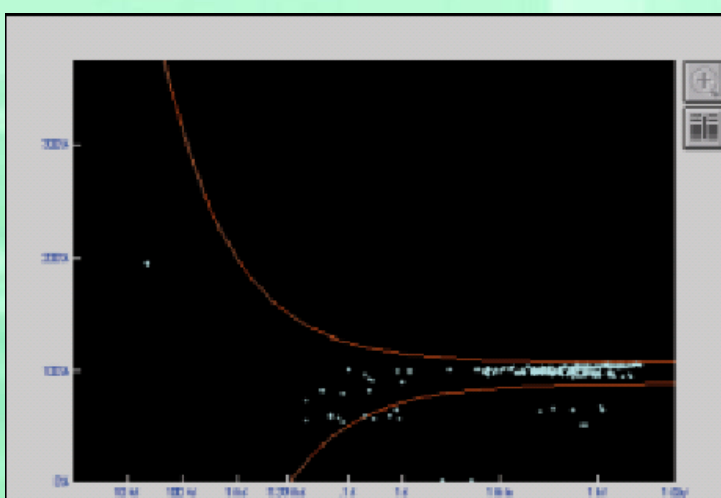
Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice



Leonardo da Vinci

Goluri de tensiune *Atenuarea golurilor de tensiune*

5.3.2



Goluri de tensiune

Goluri de tensiune

Atenuarea golurilor de tensiune

Derek Maule
Claude Lyons Ltd
Martie 2001

(Versiunea 0b Noiembrie 2001)

European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute este un joint venture între ICA (International Copper Association) și membrii IWCC (International Wrought Copper Council). Prin membrii săi, ECI acționează în numele celor mai mari producători de cupru din lume și a principalilor prelucrători din Europa, pentru promovarea cuprului în Europa. Apărută în ianuarie 1996, ECI are suportul unei rețele de zece Copper Development Association („CDAs”) în Benelux, Franța, Germania, Grecia, Ungaria, Italia, Polonia, Scandinavia, Spania și Regatul Unit. ECI continuă eforturile întreprinse inițial de către Copper Products Development Association, apărută în 1959 și INCRA (International Copper Research Association), apărută în 1961.

Societatea Inginerilor Energeticieni din România

Societatea Inginerilor Energeticieni din România - SIER, constituită în 1990, este o asociație profesională, autonomă, cu personalitate juridică, neguvernamentală, apolitică, fără scop patrimonial. Scopul Societății este de a contribui activ atât la creșterea rolului și eficienței activității inginerilor energeticieni, cât și la stabilirea orientărilor, promovarea progresului tehnic și îmbunătățirea legislației în domeniul energetic. SIER promovează un schimb larg de informații, cunoștințe și experiență între specialiștii din domeniul energetic prin cooperarea cu organizații similare naționale și internaționale. În anul 2004 SIER a semnat un acord de parteneriat cu European Copper Institute pentru extinderea și în România a programului LPQI (Leonardo Power Quality Initiative), program educațional în domeniul calității energiei electrice, realizat cu suportul Comisiei Europene. În calitate de partener al ECI, SIER se va implica în desfășurarea unei ample activități de informare și de consultanță a consumatorilor de energie electrică din România.

Mulțumiri

Acest proiect a fost realizat cu suportul Comunității Europene și al International Copper Association, Ltd.

Atenționare

Conținutul acestui proiect nu reflectă în mod necesar poziția Comunității Europene și nu implică nici o responsabilitate din partea Comunității Europene.

European Copper Institute, Claude Lyons Ltd și Societatea Inginerilor Energeticieni din România își declină răspunderea pentru orice daune directe, indirecte, subsidiare sau incidentale care ar putea să rezulte în urma utilizării informațiilor sau a inabilității de a utiliza informațiile și datele cuprinse în această publicație.

Copyright© European Copper Institute, Claude Lyons Ltd și Societatea Inginerilor Energeticieni din România.

Reproducerea prezentului document este permisă numai sub forma sa integrală și cu menționarea sursei.



Membră a
EUR-EL

Societatea Inginerilor Energeticieni din România
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33
020371 Bucharest
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54
Fax: (4 021) 610 52 83
Email: office@sier.ro
Websites: www.sier.ro



Atenuarea golurilor de tensiune

Cea mai mare parte a golurilor de tensiune din sistemul de alimentare au o tensiune remanentă semnificativă, astfel încât energia este încă disponibilă, dar la o tensiune prea mică pentru a fi utilă sarcinii. Această secțiune prezintă echipamente de atenuare a golurilor de tensiune care să facă față acestor cerințe. Nu este solicitat nici un mecanism de stocarea energiei; ele se bazează pe tensiunea întregă generată din energie care mai este încă disponibilă la o tensiune redusă (și un curent mărit) din timpul golului. Astfel de dispozitive sunt în general categorisite ca stabilizatoare de tensiune automate. Alte tipuri de echipamente sunt capabile să facă față golurilor de tensiune când tensiunea remanentă este zero, acestea fiind descrise într-o altă secțiune a *Ghidului*.

Această secțiune dă o descriere de principiu a fiecărui tip de stabilizator de tensiune automat. Se prezintă avantajele și dispozitivele fiecărui tip pentru a face posibilă o alegere corectă a stabilizatorului de tensiune necesar pentru o anumită aplicație.

Principalele tipuri de stabilizatoare de tensiune automate sunt:

- Electromecanic
- Transformator cu fero-rezonanță sau de tensiune constantă (*Constant Voltage Transformer - CVT*)
- Regulator electronic de prize (ploturi)
- Reactor saturabil (Transductor)
- Stabilizator de tensiune electronic (*Electronic Voltage Stabiliser - EVS*).

Trebuie reținut că un punct important în alegerea unui stabilizator de tensiune automat este ca soluția aleasă să rezolve problema în cauză fără să creeze alte probleme adiționale. Un exemplu ar fi conectarea unui stabilizator fero-rezonant la ieșirea unui generator secundar (inferior) pentru a compensa variațiile de tensiune nu este o soluție fericită. Într-adevăr, fiecare fluctuație de 1 % în frecvența acestui generator va produce o variație a tensiunii alternative de 1,5 %.

În continuare se prezintă o descriere detaliată a fiecărui tip de stabilizator de tensiune automat.

Stabilizator electromecanic

Principiul acestui tip de stabilizator este de a controla automat un transformator variabil intern pentru a compensa variația tensiunii de intrare provenind din alimentarea de tensiune alternativă. Ieșirea transformatorului variabil alimentează înfășurarea primară a unui convertor inverter de tensiune al cărui circuit secundar este conectat în serie între alimentare și sarcină. Principiul constă în injectarea unei tensiuni de corecție (care se adună sau se scade) în linia de alimentare, așa cum se arată în figura 1.

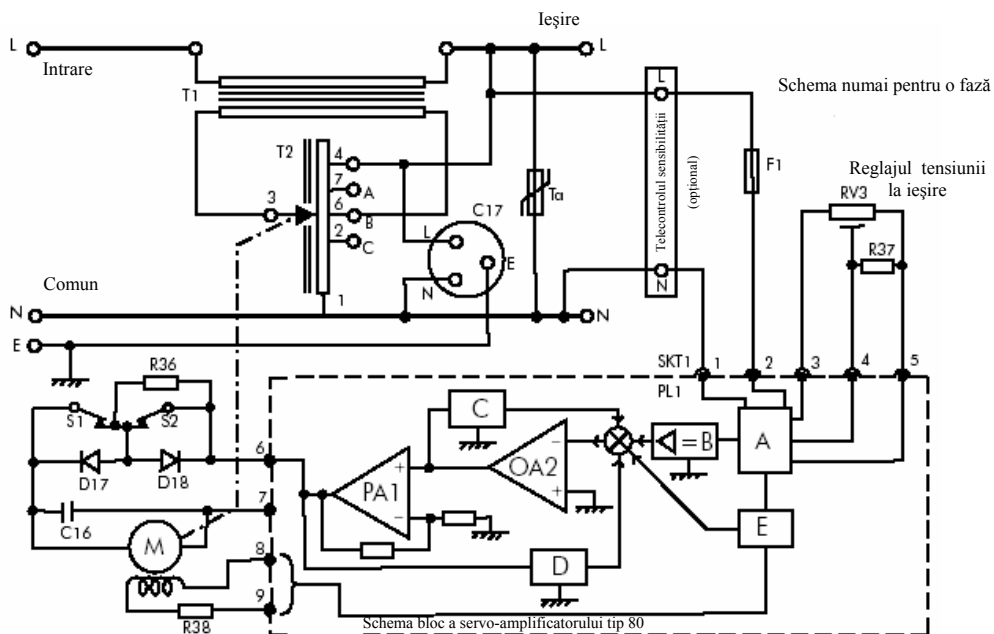


Fig. 1 – Schema de principiu a unui stabilizator electromecanic de tensiune

Atenuarea golurilor de tensiune

Unul din principalele avantaje a acestui tip de stabilizator îl constituie faptul că puterea controlată nu reprezintă decât o mică parte din puterea totală. De exemplu, pentru a controla o sarcină de 100 kVA pentru o bandă de tensiunii de alimentare de $\pm 10\%$, stabilizatorul de tensiune electromecanic are nevoie de o putere de cel mult 10 kVA. Analiza repartiției puterilor arată o eficiență de 98 % la sarcină plină. Chiar și la sarcini reduse, de exemplu de 10 % din cea maximă, randamentul rămâne mai mare de 95 %.

Tensiunea de ieșire din stabilizatorul de tensiune electromecanic este controlată printr-un servo-amplificator. Dacă tensiunea de ieșire stabilizată diferă de valoarea fixată ca urmare a unei modificări a tensiunii de alimentare sau a curentului de sarcină, servo-amplificatorul va comanda un motor care va modifica configurația transformatorului variabil în direcția necesară pentru a mări sau micșora alimentarea introdusă până când este realizată tensiunea la valoarea fixată. Metoda de stabilizare a tensiunii nu produce armonici și deci nu injectează distorsiune în tensiunea de alimentare. Fig.2 prezintă raportul de corecție între tensiunea de intrare și de ieșire.

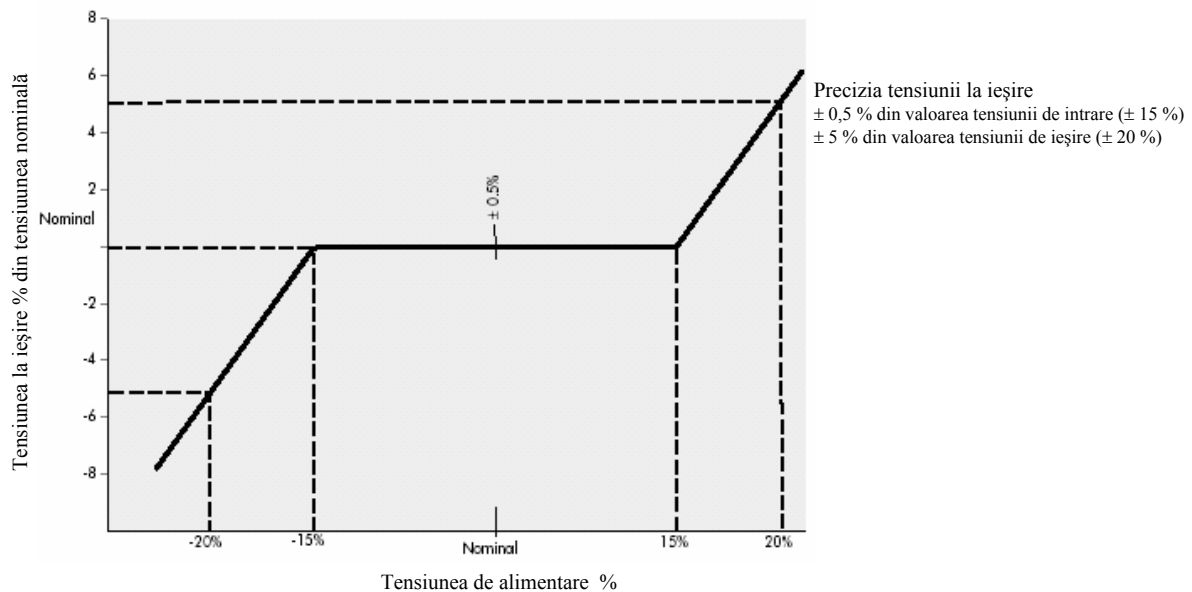


Fig. 2 – Valorile de intrare și de ieșire pentru un stabilizator la $\pm 15\%$

Acțiunea servo-sistemului este foarte rapidă, decelerarea este foarte bine stăpânită și controlul este perfect (Fig. 3, 4 și 5). Detectarea bazată pe tensiunea de ieșire compensează automat orice modificare în curentul de sarcină. Datorită dispozitivelor de detectare la distanță care permit detectarea tensiunii într-un punct extern sistemului este posibil să se introducă corecția pentru căderile de tensiune în cabluri chiar dacă sarcina este la o oarecare distanță de stabilizator.

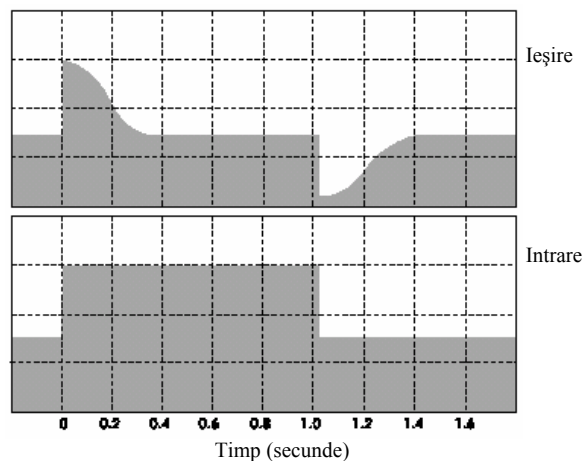


Fig. 3 – Oscilogramă prezentând timpul de corecție tipic a unui stabilizator de tensiune electromecanic pentru o abatere de 40 V

Atenuarea golurilor de tensiune

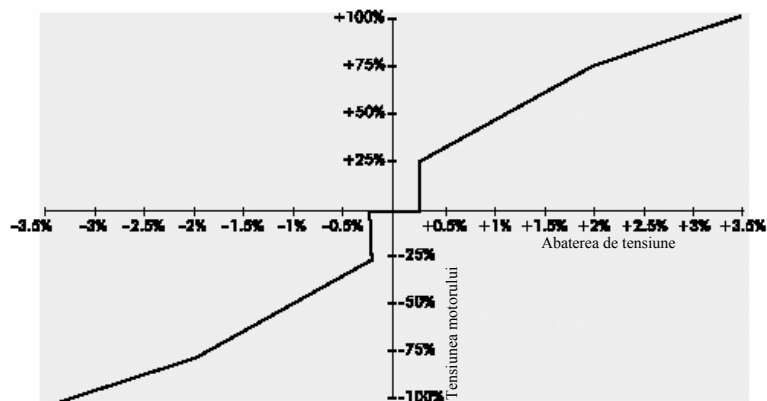


Fig. 4 – Corelația dintre abaterea de tensiune și tensiunea motorului – Servo amplificator tip 80

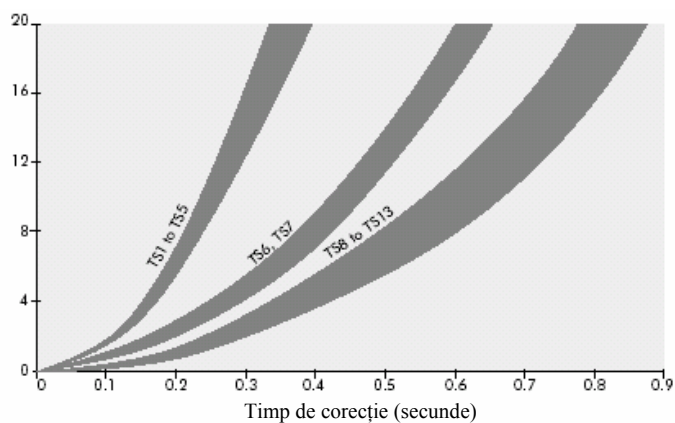


Fig. 5 – Timp de corecție în funcție de paliere – Servo amplificator tip 80

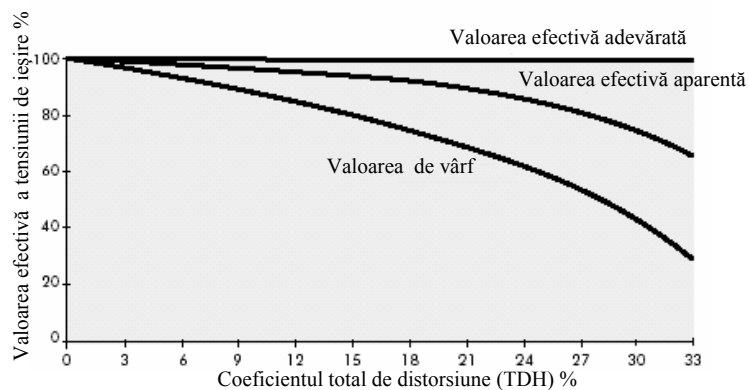


Fig. 6 – Valoarea efectivă a tensiunii la ieșire în funcție de distorsiunea armonică totală - Servo amplificator tip 80

Atenuarea golurilor de tensiune

Avantajele principale ale stabilizatorului electromecanic de tensiune sunt:

- Concepția simplă;
- Tensiunea la ieșire nu este influențată de factorul de putere;
- Tensiunea la ieșire compensează automat variațiile datorate sarcinii;
- Impedanța de ieșire foarte redusă;
- Precizia stabilizării ridicată, de regulă $\pm 5\%$;
- Aparatul este total insensibil la frecvența alimentării;
- Cost și dimensiuni relativ reduse;
- Ieșirea nu este sensibilă la distorsiunea tensiunii de alimentare (Valoarea efectivă adevărată – vezi Fig.6);
- Câmpurile magnetice exterioare sunt foarte reduse (nu există curenți magnetici de saturație).

Principalele dezavantaje ale stabilizatorului de tensiune electromecanic sunt:

- Anumite părți ale stabilizatorului sunt în mișcare;
- Timpul de răspuns este de regulă 15 perioade (300 ms) pentru o variație de 40 V; este mai lent decât un regulator electronic sau decât transformatoarele cu fero-rezonanță (CVT)

Regulator fero-rezonant sau transformator cu tensiune constantă (CVT)

Schema de principiu a unui transformator cu tensiune constantă (CVT) este prezentată în Fig.7 și constă dintr-un transformator cu o înfășurare primară unică și trei înfășurări secundare cu un singur condensator în paralel.

Înfășurarea neutră (N) și înfășurarea secundară (S) sunt separate de înfășurarea primară prin șunturi magnetice. Reluctanța magnetică a acestor șunturi este foarte mare în comparație cu reluctanța magnetică a părții centrale a miezului transformatorului. Inductanța de scăpări produsă de aceste șunturi, împreună cu capacitatea (CR) formează un circuit rezonant.

Atunci când tensiunea de intrare crește, fluxul în partea centrală a miezului transformatorului crește până când reactanța inductivă a înfășurării secundare este egală cu reactanța capacitivă a condensatorului. În acest moment tensiunea de ieșire este ridicată datorată rezonanței circuitului cu toate că tensiunea de intrare este relativ joasă (Fig.8). Înfășurarea neutră reduce distorsiunea la ieșire de la aproximativ 20 % la sub 3 %.

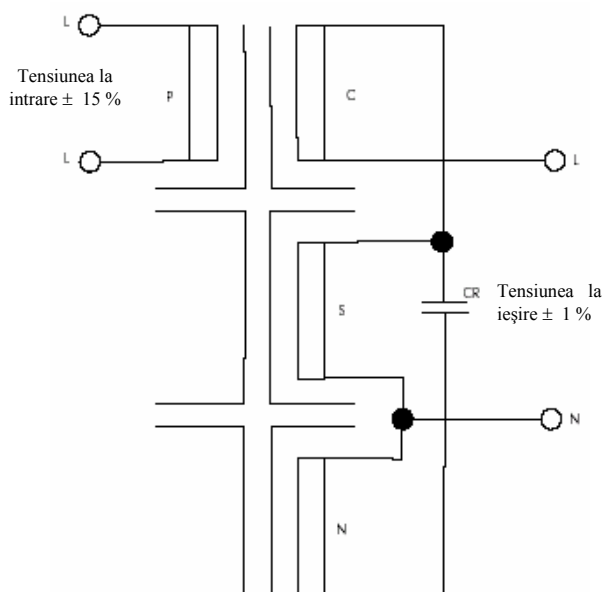


Fig. 7 – Schema de principiu a unui CVT

Atenuarea golurilor de tensiune

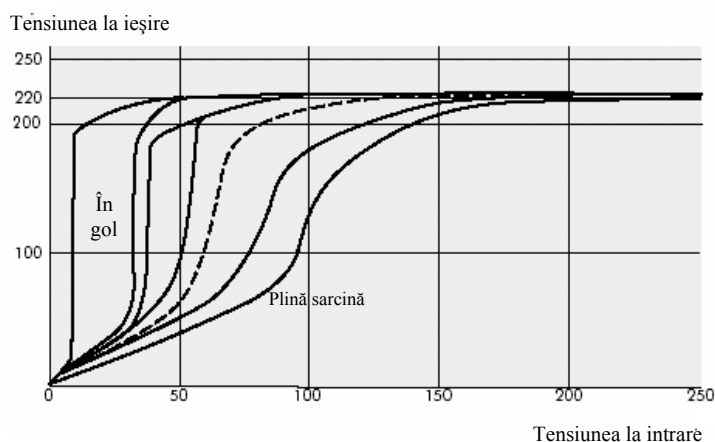


Fig. 8 – Caracteristicile de intrare și de ieșire ale unui CVT

Ansamblul circuitului secundar este în rezonanță pe armonica trei, ceea ce anulează majoritatea armonicilor generate de saturarea miezului și produce o curbă sinusoidală relativ pură.

Stabilitatea la ieșire este determinată de fluxul din miezul transformatorului și tensiunea generată de înfășurarea de compensare (C). Asta înseamnă că tensiunea la ieșire poate fi modificată dacă există prize la transformator.

Avantajele principale ale unui stabilizator fero-rezonant sunt:

- Capacitatea, la sarcini mici, de a avea o gamă de tensiuni de intrare excepțional de mare. La 25 % sarcină tensiunea la ieșire este menținută în limitele $\pm 5\%$, chiar dacă tensiunea la intrare este numai 35 % din tensiunea nominală (Fig.8).
- Curentul de ieșire CVT este limitat automat în cazul unei suprasarcini.

Dezavantajele principale ale unui stabilizator fero-rezonant sunt:

- Funcțiunea de limitare automată a curentului de ieșire (vezi mai sus) poate împiedica sarcinile care necesită un curent de pornire, pentru a funcționa corect, în afara cazului în care sarcina CVT nu este redusă sau nu este special conceput pentru această aplicație. Exemple tipice sunt motoare sau alimentări comandate printr-un întrerupător.
- Transformatorul se bazează pe rezonanță și în consecință tensiunea la ieșire se va modifica cu 1,5 % pentru orice modificare cu 1 % a frecvenței de intrare.
- CVT are o precizie redusă a stabilității, de regulă $\pm 3\%$.
- Concepția miezului transformatorului se bazează pe saturație pentru a furniza o tensiune de ieșire constantă. Aceasta produce câmpuri magnetice ridicate în jurul transformatorului care pot produce probleme echipamentelor sensibile amplasate aproape de CVT.
- Dimensiunile și greutatea pentru o anumită capacitate nominală în kVA pot fi de câteva ori mai mari decât a unui stabilizator de tensiune electromecanic cu aceeași capacitate nominală.

Regulator electronic de tensiune (comutator de ploturi)

Regulatele electronice funcționează prin selectarea separată a ploturilor la intrarea sau la ieșirea unui autotransformator (Fig.9). Selectarea plotului poate fi realizată prin relee sau un dispozitiv semiconductor, cum ar fi un tiristor. Dacă se folosesc relee, ele acționează numai în momentul schimbării plotului. Totuși, dacă se utilizează un tiristor, el va funcționa de 50 ori pe secundă, adică el se va deschide și închide la fiecare ciclu al alimentării la 50 Hz. În această aplicație, releele s-au dovedit mai fiabile.

Variațiile tensiunii de intrare ale alimentării sunt monitorizate de un senzor electronic care selectează automat plotul cel mai potrivit al transformatorului utilizând un releu, pentru a menține tensiunea cerută la ieșire.

Atenuarea golurilor de tensiune

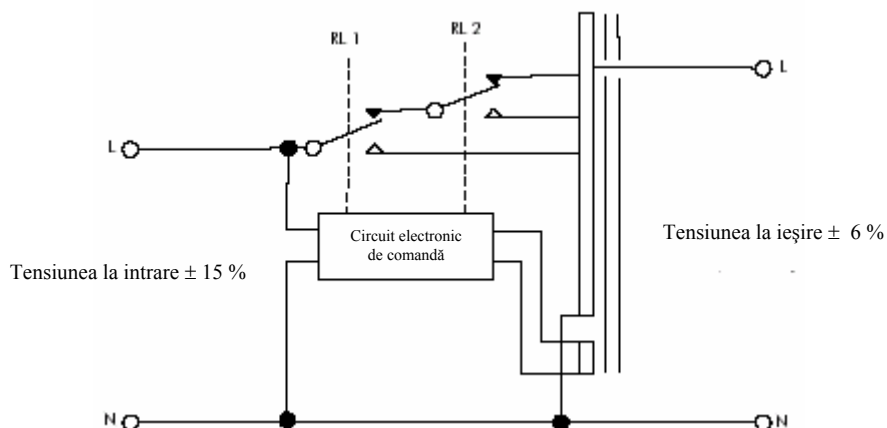


Fig. 9 – Schema de principiu a unui regulator de ploturi

Momentul schimbării plotului este ales electronic pentru a se face foarte aproape de trecerea tensiunii prin zero, ceea ce garantează că toate interferențele RF și fenomenele tranzitorii cauzate de comutație vor fi reduse la minim. Tensiunea de ieșire variază în trepte (Fig. 10). În consecință, acest tip de stabilizator de tensiune nu va fi utilizat la iluminat sau alte sarcini care nu pot admite schimbările în trepte a tensiunilor de intrare.

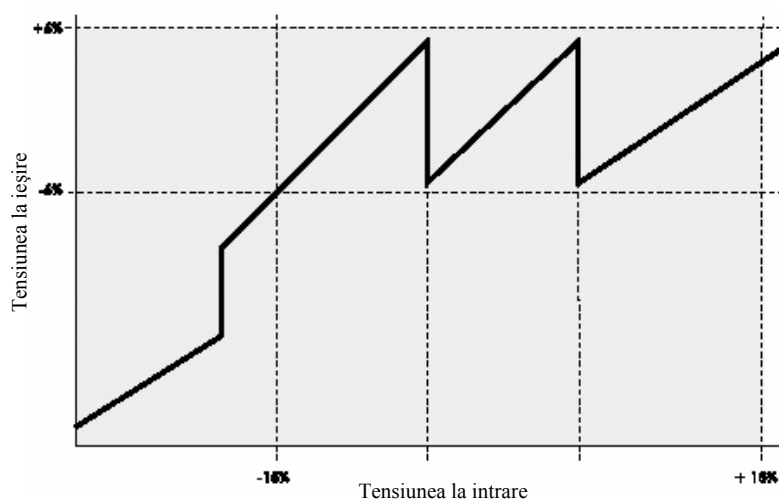


Fig. 10 – Caracteristicile de intrare și de ieșire a unui regulator de ploturi

Principalele avantaje ale regulatorului electronic de ploturi sunt:

- O eficiență foarte ridicată;
- Nu este sensibil la variațiile de frecvență;
- Greutate și dimensiuni reduse;
- Nu este dependent de factorul de putere;
- Nu este sensibil la modificările de sarcină;
- Răspuns rapid, de regulă 1-1,5 perioade (20-30 ms);
- Un cost relativ redus.

Principalele dezavantaje ale regulatorului electronic de ploturi sunt:

- Reglarea tensiunii (stabilizarea) este în trepte;
- Precizia tensiunii de ieșire nu este, de regulă, mai mică de $\pm 3\%$;
- Fiabilitatea poate fi limitată (redușă) dacă sunt utilizate dispozitive semiconductoare pentru comutarea curentului de sarcină.

Atenuarea golurilor de tensiune

Inductanță saturabilă (Transductor – reactanță sau amplificator magnetic)

Stabilizatorul cu inductanță saturabilă funcționează prin generarea unui contact mobil comandat printr-un câmp magnetic produs de un ansamblu de doi transductori (T1-T2, Fig.11). Un circuit de comandă electronic detectează tensiunea de ieșire și reglează (ajustează) înfășurările de comandă ale T1 și T2 pentru corectarea abaterii. Saturarea transductorilor produce o distorsiune care trebuie eliminată cu ajutorul filtrelor pentru a asigura generarea unei curbe sinusoidale pure.

Deși stabilizatorul cu inductanță saturabilă nu are părți în mișcare, timpul său de corecție poate fi lent, echivalentul a 20 perioade (400 ms), datorită inductanței transductorilor. Acesta este mult mai lent decât un stabilizator electromecanic de aceeași capacitate.

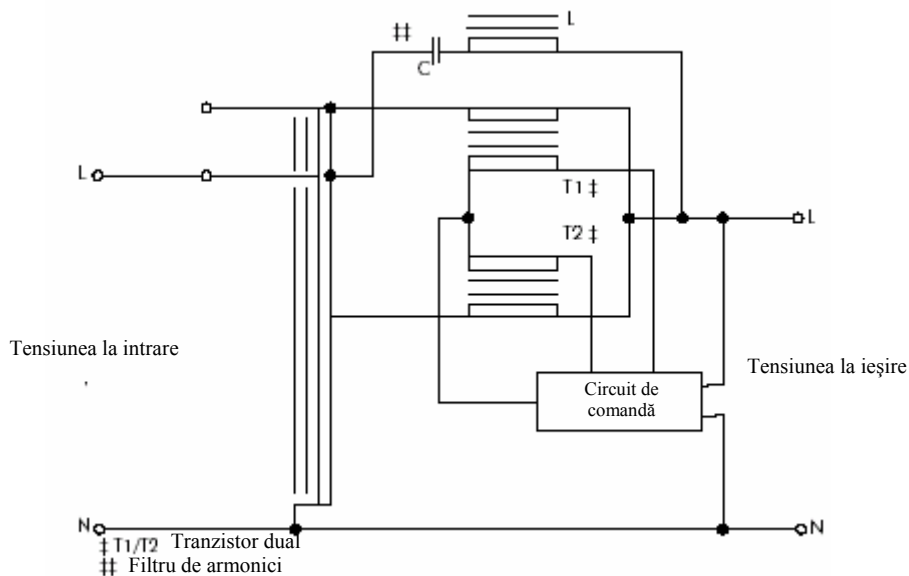


Fig. 11 – Schema unui regulator cu inductanță (reactor) saturabilă

Principalele avantaje ale reactorului saturabil sunt:

- Nu are părți în mișcare;
- Comandă continuă (netedă, fără trepte).

Principalele dezavantaje

- Dimensiuni și greutate mare
- Timpul de răspuns este mai puțin bun decât la un stabilizator de tensiune electromecanic cu o capacitate similară
- Poate genera câmpuri magnetice importante
- Banda de tensiune este dependentă pe factorul de putere al sarcinii
- Impedanța internă mare poate afecta unii curenți de sarcină mari
- Distorsiunea curbei tensiunii de ieșire este dependentă de frecvența alimentării
- Precizia la ieșire este dependentă de frecvența de alimentare și factorul de putere al sarcinii.

Stabilizator de tensiune electronic

Stabilizatorul de tensiune electronic este un aparat foarte rapid, foarte tolerant și fără părți mobile.

Componenta principală a unui stabilizator de tensiune electronic este un controler electronic de putere. În funcție de model, controlerul de putere furnizează o tensiune în circuitul primar al unui convertor inverter de tensiune care este în fază sau defazat față de tensiunea de alimentare. Circuitul secundar al convertor inverterului este conectat între alimentarea de intrare și sarcină. Controlerul de putere poate deci să adauge sau să scadă o tensiune la cea de alimentare sau va comanda direct sarcina printr-un autotransformator.

Atenuarea golurilor de tensiune

Funcționarea controlerului electronic de putere este asigurată de două comutatoare bidirecționale pe bază de *IGBT* (insulated gate bipolar transistors - tranzistoare bipolare cu grilă izolată) care sunt utilizate pentru a choppa tensiunea la intrare la o frecvență de 20 kHz cu o durată a impulsului care depinde de tensiunea de ieșire cerută. Controlerul de putere compară tensiunea de ieșire a stabilizatorului de 50 Hz cu o tensiune fixă de referință și diferența este utilizată pentru a controla cele două comutatoare bidirecționale. După modulare (pwm: pulse-width-modulated / modulație de lățime a impulsurilor) unda de înaltă frecvență este filtrată și ea alimentează:

- primarul convertor – inverterului: tensiunea din secundar adaugă sau scade o valoare adecvată pentru obținerea unei tensiuni de ieșire stabilă;
- direct sarcina printr-un autotransformator.

Un circuit de ocolire integrat, utilizat pentru orientarea curenților în componentele *IGBT* în cazul unor suprasarcini sau a unui scurtcircuit, protejează *IGBT* și permite eliminarea curenților periculoși prin intermediul unei siguranțe fuzibile.

Principalele avantaje ale stabilizatorului de tensiune electronic sunt:

- O stabilizare foarte precisă
- Un răspuns foarte rapid, de regulă 0,5 perioade (10 ms)
- Mari fluctuații ale tensiunii de intrare fără a fi necesare comutatoarele de ploturi
- Insensibilitate la variațiile de frecvență ale tensiunii de intrare
- Dimensiuni și greutate reduse.

Principalele dezavantaje ale stabilizatorului de tensiune electronic sunt:

- Mult mai scump decât un stabilizator de tensiune electromecanic de dimensiuni similare.

Tehnica	Mărimea de intrare	Control	Viteza de răspuns	Precizia de stabilizare	Reglajul sarcinii	Dimensiuni pe kVA	Cost pe kVA	Total din 70	Procentual %
Stabilizator electromecanic TS	10	10	6	10	10	9	9	64	91
Transformator fero-rezonant (CVT)	8	8 (B)	9 (B)	5	8 (D)	3	7	48	69
Regulator electronic cu prize MVC	8 (A)	6 (A)	10	5 (A)	6 (C)	10	10	55	79
Reactor saturabil	8	10	5	8	8 (D)	4 (E)	6	49	70
Stabilizator de tensiune electronic	10	10	10	10	10	10	8	68	97

Note

Cheie: 1- prost 10 – excelent

(A) Depinde de numărul de prize. (B) Depinde de încărcare. Poate apărea depășiri la sarcini mici. (C) Depinde de nivelul de distorsiune al curbei și numărul de prize. (D) Depinde de factorul de putere și de tipul sarcinii (rezistivă, capacitivă, inductivă). Această tehnică poate deveni instabilă dacă constanta de timp a sarcinii este similară cu constanta de timp a stabilizatorului. (E) Distorsiunea curbei de ieșire depinde de frecvență

Tabelul 1 – Compararea tehnicilor de stabilizare a tensiunii

În Tabelul 1 se prezintă o comparație a tehnicilor de stabilizare a tensiunii. Se poate constata că stabilizatorul de tensiune electronic este aparatul cel mai eficient pentru reglarea tensiunii de intrare care alimentează un echipament electronic sensibil. Stabilizatorul de tensiune electromecanic a devenit la ora actuală un echipament “standard” pentru industrie. Valorile limită superioare de viteză și de capacitate a sarcinii a unui stabilizator electromecanic sunt restricționate numai de limitele mecanice ale părților mobile ale transformatoarelor utilizate în procesul de reglaj. Eficiența diferitelor soluții disponibile pentru compensarea golurilor de tensiune este mult dependentă de valoarea și sensibilitatea sarcinii care necesită alimentarea la o tensiune stabilă și de necesitatea de a evita introducerea de probleme suplimentare pentru instalație prin procesul de stabilizare a tensiunii. Deși un stabilizator de tensiune electronic este mai scump decât un stabilizator electromecanic și decât un regulator automat cu prize (ploturi), dezvoltarea și disponibilitatea în viitor de *IGBT*-uri de puteri mai mari, precum și reducerea inevitabilă a costului acestora, prevestește un viitor bun pentru stabilizatorul de tensiune electronic ca fiind cel mai rapid, cel mai eficient și eficient din punctul de vedere al costurilor, pentru stabilizarea tensiunii de intrare la echipamentele electronice sensibile.

Parteneri

Copper Benelux

168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 7090
Fax: 00 32 2 777 7099
Email: mail@copperbenelux.org
Web: www.copperbenelux.org

Contact: Mr B Dôme

Copper Development Association

Verulam Industrial Estate
224 London Road
St Albans AL1 1AQ
United Kingdom

Tel: 00 44 1727 731205
Fax: 00 44 1727 731216
Email: copperdev@compuserve.com
Webs: www.cda.org.uk & www.brass.org

Contact: Mrs A Vessey

Deutsches Kupferinstitut e.V

Am Bonneshof 5
D-40474 Duesseldorf
Germany

Tel: 00 49 211 4796 323
Fax: 00 49 211 4796 310
Email: sfassbinder@kupferinstitut.de
Web: www.kupferinstitut.de

Contact: Mr S Fassbinder

ECD Services

Via Cardinal Maffi 21
I-27100 Pavia
Italy

Tel: 00 39 0382 538934
Fax: 00 39 0382 308028
Email: info@ecd.it
Web www.ecd.it

Contact: Dr A Baggini

European Copper Institute

168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Web: www.eurocopper.org

Contact: Mr H De Keulenaer

Hevrox

Schoebroekstraat 62
B-3583 Beringen
Belgium

Tel: 00 32 11 454 420
Fax: 00 32 11 454 423
Email: info@hevrox.be

Contact: Mr I Hendrixx

HTW

Goebenstrasse 40
D-66117 Saarbruecken
Germany

Tel: 00 49 681 5867 279
Fax: 00 49 681 5867 302
Email: wlang@htw-saarland.de

Contact: Prof Dr W Langguth

Istituto Italiano del Rame

Via Corradino d'Ascanio 4
I-20142 Milano
Italy

Tel: 00 39 02 89301330
Fax: 00 39 02 89301513
Email: ist-rame@wirednet.it
Web: www.iir.it

Contact: Mr V Loconsolo

KU Leuven

Kasteelpark Arenberg 10
B-3001 Leuven-Heverlee

Belgium
Tel: 00 32 16 32 10 20
Fax: 00 32 16 32 19 85
Email: ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be

Contact: Prof Dr R Belmans

Polish Copper Promotion Centre SA

Pl.1 Maja 1-2
PL-50-136 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 78 12 502
Fax: 00 48 71 78 12 504
Email: copperpl@wroclaw.top.pl

Contact: Mr P Jurasz

TU Bergamo

Viale G Marconi 5
I-24044 Dalmine (BG)
Italy

Tel: 00 39 035 27 73 07
Fax: 00 39 035 56 27 79
Email: graziana@unibg.it

Contact: Prof R Colombi

TU Wroclaw

Wybrzeze Wyspianskiego 27
PL-50-370 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 32 80 192
Fax: 00 48 71 32 03 596
Email: i8@elektryk.ie.pwr.wroc.pl

Contact: Prof Dr H Markiewicz



Claude Lyons Ltd
Brook Road
Waltham Cross
Herts EN8 7LR
United Kingdom

Tel: 00 44 1992 768888
Fax: 00 44 1992 788000
Email: pqm@claudelyons.co.uk
Website: www.claudelyons.co.uk



Membă a
EUREL

Societatea Inginerilor Energeticieni din România
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33
020371 Bucharest
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54
Fax: (4 021) 610 52 83
Email: office@sier.ro
Websites: www.sier.ro



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org